

互联互通。平台建设方面创建企业级工业互联网平台，将云计算、边缘计算、区块链等技术能力整合在一起，实现数据存储、计算、分析一体化的服务，南方电网的“南网智瞰”平台接入设备超过1.2亿台，可以对设备进行实时的状态感知以及智能的运行控制。算法研发方面以电力专用算法为突破口，研制出以深度强化学习为基础的发电计划优化算法、基于联邦学习的电压控制模型等智能化决策算法，解决算法可解释性问题，建立决策溯源系统，保证应用合法^[5]。

4.3 推进业务场景深度融合

业务融合是转型的重要抓手，要把大数据技术渗透到电力核心业务当中。在电网规划阶段，利用大数据分析区域经济发展、负荷变化、新能源资源等数据来建立电网规划优化模型，从而提高规划的科学性、前瞻性，如国网河北电力分布式光伏发展规划分析平台使光伏科学、安全、有序地接入电网。在电网运维环节，用数字孪生技术创建设备多维度孪生体，融合BIM+GIS时空数据底座，实行设备全生命周期管理，依靠模拟仿真改善运维方案，雄安新区剧村城市智慧能源融合站创建数字变电站，达成运维智能主导。在电力调度环节，创建基于大数据的智能调度系统，把新能源出力、负荷变动等要素综合起来，完成发电计划的自主优化以及全网的协同调控，从而改善调度效能并加强电网的安全性。根据客户画像，给客户推荐精准服务、主动预警故障风险、提供个性化电费套餐等措施来推动服务模式创新，提高客户体验。

4.4 健全转型保障机制体系

健全的保障机制是转型顺利推进的重要保证，要从战略、组织、人才、安全四个方面来构建全方位的保障体系。战略规划层面需要企业管理层确定出数字化转型战略的定位，把其加入企业的整体战略之中，制定出相应的转型行动计划以及实施路径，加强集团层面的统筹协调和一体化布局，防止盲目推进。从组织架构上设立数字化转型牵头部门，确定各职能部门的职责分工，打破跨部门合作的壁垒，组成

跨领域的专项小组，推进业务和技术的深度融合，三峡集团设立数字化转型领导小组和专职部门，开展全方位的诊断工作。人才培养方面建立复合型人才培育体系，利用高校双学位项目、企业内部培训、校企合作等途径培养掌握电力系统知识与大数据技术的复合型人才，组建专业的数字化队伍，提高技术研发和应用能力。从安全方面来实行内生安全建设理念，在终端芯片中集成安全加密模块，创建全域态势感知平台，融合漏洞扫描、流量分析等安全功能，制定数据安全分级分类管理制度，防控网络安全风险与数据泄露问题。

5 结语

综上所述，大数据推动电力企业信息化转型是数字经济发展的必然结果，也是电力企业实现“双碳”目标的必然选择，是电力企业提高核心竞争力、实现高质量发展的重要途径。本文通过对于转型概述、转型意义与路径的探究来确定转型的核心含义、时代价值以及实现方向。创建全域数据基础，建构协同技术体系，推进业务场景融合，健全保障机制，构成完整转型实施框架。电力企业信息化转型已经进入协同发展、生态建设的关键时期，数据整合、技术适配、协同壁垒等还存在困难，但是大数据技术不断成熟、应用加深，转型前景十分广阔。

参考文献

- [1] 徐子陶. 电力企业预算项目化全流程管理优化策略分析[J]. 环渤海经济瞭望, 2025, (11): 8-11.D
- [2] 阮早栋. 数字化转型对电力企业财务管理的影响与优化路径[J]. 财经界, 2025, (33): 78-80.
- [3] 樊芑材. 电力行业税收优惠政策落地过程中的信息化支撑研究[J]. 信息与电脑, 2025, 37(22): 178-180.
- [4] 韩珍. 浅析新经济背景下的电力人力资源管理[J]. 国际公关, 2025, (21): 104-106.
- [5] 周颖. K电力企业办公成本精细化管控措施[J]. 大众标准化, 2025, (21): 110-112.

Research on AI-based 6G base station network management and resource orchestration

Zhaohong Song

Huawei Technologies Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518129, China

Abstract

The core characteristic of the sixth-generation mobile communication technology (6G) is its native integration with artificial intelligence (AI). The intelligent transformation of base stations is the foundation for 6G networks to realize the scenario of intelligent connectivity of everything. This paper analyzes the numerous requirements for new spectrum at the physical level, space-air-ground integration at the network level, and AI service integration at the business level in the full-scenario services of the future 6G era. It proposes a distributed autonomous network management and resource orchestration algorithm at the business level in 6G base stations. Firstly, the core algorithms are systematically elaborated, including local autonomous learning algorithms, group collaborative optimization algorithms, and simulation verification algorithms. Then, the implementation architecture of the algorithms is analyzed in detail, including distributed execution at the base station autonomy layer, collaborative enhancement at the regional coordination layer, and centralized intelligence at the global management layer. Finally, the evolution path from centralized intelligence to distributed intelligence, and then to swarm intelligence, is prospected. Through the research presented in this paper, a systematic reference framework is provided for the theoretical research and engineering practice of 6G base station intelligence, promoting the evolution of wireless technology.

Keywords

6G; Artificial Intelligence; Distributed Autonomous Management; Resource Orchestration; Deep Reinforcement Learning;

基于 AI 的 6G 基站网络管理与资源编排研究

宋照红

华为技术有限公司, 中国·广东 深圳 518129

摘要

第六代移动通信技术(6G)核心特征是与人工智能(AI)的原生融合,基站的智能化转型是6G网络实现万物智联场景的基础。本文分析未来6G时代的全场景服务中物理层面的新频谱、网络层面的空天地一体化、业务层面的AI服务融合的众多需求,提出6G基站中业务层面的分布式自主网络管理与资源编排算法。首先系统阐述了核心算法,包括本地自主学习算法、群体协同优化算法、仿真验证算法;然后详细分析算法的实现架构,包括基站自治层的分布执行、区域协同层的协同增强、全局管理层的集中智慧;最后展望了从集中智能到分布智能,再到群体智能的演进路径。通过本文研究,为6G基站智能化的理论研究与工程实践提供系统性的参考框架,促进无线技术演进。

关键词

6G; 人工智能; 分布式自主管理; 资源编排; 深度强化学习

1 6G 基站引入 AI 的必要性

基站网络管理是指实时监控基站的运行状态、动态配置网络参数、智能诊断与预测性维护、安全防护。基站资源编排是指对频谱、计算、存储、功率等多维度资源的动态调度与优化配置技术。

未来面向 6G 时代的全场景服务,包括沉浸式扩展现实、全息通信、大规模数字孪生以及超可靠自主通信,网络面临着前所未有的复杂性、动态性和确定性需求。这种复杂性体

现在多个层面:在物理层面,太赫兹频段的引入带来了严重的传播损耗和波束失准问题;在网络层面,空天地一体化网络节点密集、动态多变且高度异构,传统的集中式解决方案难以满足其资源管理和运营需求;在业务层面,AI 服务本身成为网络承载的核心对象,其对算力、数据、模型和连接的融合需求,要求网络提供远超传统连接质量的服务质量保障。上述全场景智能服务要求 6G 基站(或更广义的接入网节点)必须具备在本地或小范围集群内进行自主决策与实时优化的能力,而不仅仅是执行中心下发的指令。这种基于 AI 的分布式自主网络管理与资源编排能力,是应对 6G 超高动态环境、实现毫秒级甚至微秒级响应、以及保障差异化 AI 服务质量的必然选择。

【作者简介】宋照红(1975-),男,中国山东人,硕士,高级工程师,从事信息通信技术、人工智能研究。

2 基于 AI 的网络管理与资源编排算法

基于 AI 的 6G 基站分布式自主网络管理与资源编排算法体系是由本地自主学习算法、群体协同优化算法和虚拟仿真验证算法构成的智能引擎。

2.1 本地自主学习算法：深度强化学习

在基站侧实现自主管理，通过部署深度强化学习 (DRL, Deep Reinforcement Learning) 智能体观察环境状态，通过深度神经网络输出动作；环境反馈即时奖励新状态，智能体基于奖励信号更新网络参数，迭代优化以最大化长期累积奖励。与需要大量标注数据的监督学习不同，DRL 智能体通过与环境的试错互动来学习策略，使其具备在复杂、不确定的无线环境中通过交互进行学习并做出最优决策的能力。

在 6G 基站中，DRL 的应用将更加深化和具体。例如，在太赫兹频段的智能波束管理与追踪中，基站可以作为一个 DRL 智能体，其状态空间 (State) 可包括用户位置估计、历史信道测量、环境感知信息 (如障碍物检测)；动作空间 (Action) 包括波束方向、宽度、发射功率的精细调整；奖励函数 (Reward) 则是信号干扰噪声比、吞吐量或能效的综合指标。通过在线或离线训练，基站能够学习到一套应对用户移动和障碍物遮挡的鲁棒波束控制策略，将波束失准的影响降至最低^[1]。

2.2 群体协同优化算法：图神经网络与联邦学习

通过部署图神经网络 (GNN, Graph Neural Networks) 功能对图结构数据进行建模和推理。当多个基站、无人机中继或智能反射面需要协同工作时，它们构成了一个动态的图网络。例如在空天地一体化网络中，针对多无人机网络协同数据收集问题，通过基于 GNN 的分布式优化方法，每个节点 (基站或无人机) 可以将其本地观测 (如信道状态、队列长度) 视为图的节点特征，将节点间的无线链路关系视为边，通过 GNN 的消息传递机制，分布式地学习出全局优化的路由或资源分配策略，实现去中心化的协同^[2]。

通过部署联邦学习 (FL, Federated Learning) 功能保障数据隐私的前提下，实现数据不出域、模型共训练。FL 通过中央服务器下发初始模型，各参与方基于本地数据独立训练，仅上传模型参数 (或梯度)；服务器聚合所有参数更新生成全局模型，再反馈给各参与方迭代优化，直至模型收敛。在 6G 网络中，不同基站可能服务于差异巨大的业务场景 (如工厂、车联网、城区)，其本地数据分布呈非独立同分布，直接集中训练会导致模型偏见。通过 FL，各基站可以在本地利用私有数据训练 AI 模型 (如信道预测模型、业务量预测模型)，仅将模型参数更新上传至区域协调器进行聚合。这种模式既保护了数据隐私和本地自治性，又能利用群体智慧提升全局模型的泛化能力，是构建可信任分布式智能的关键^[1]。

2.3 集中仿真验证算法：预测与编排

通过部署网络数字孪生 (DT, Digital Twin) 功能构建

与物理网络同步的高保真虚拟镜像，可以在数字空间中进行预测和编排^[3]。预测功能基于持续的数据驱动，DT 融合物联网等实时感知数据与历史数据，利用 AI 模型 (如 Transformer 混合模型) 分析网络流量、用户移动和设备状态等多维度参数的演化趋势。这使得 DT 不仅能实时映射网络状态，更能提前识别潜在的性能瓶颈、干扰热点及故障风险，实现从被动响应到主动干预的转变。编排功能则体现在仿真优化闭环中。DT 在数字空间中无损地预演复杂的资源调度、切片部署等策略。通过对比多种方案并优化参数，可以验证策略的有效性并规避风险。验证后的最优策略可被转化为具体的配置指令，一键下发至物理网络执行。

3 基于 AI 的网络管理与资源编排实现架构

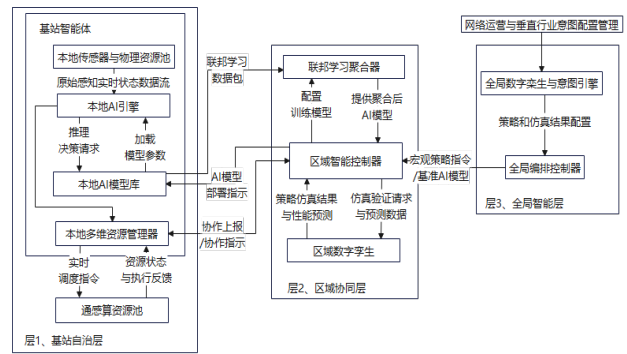


图 1 基于 AI 的分布式自主网络管理与资源编排实现架构

图 1 中架构采用“集中智慧、协同增强、分布执行”的分层自治设计，下面进行分析。

3.1 基站自治层 (分布执行)

基站自治层是 6G 网络的边缘智能核心节点，主要承担毫秒 / 微秒级的实时自主决策与执行。它通过本地 AI 引擎实时感知环境并做出决策，由多维资源管理器统一调度通、感、算等异构资源，以应对超动态业务需求，并在上层策略指导下与相邻基站协同，实现分布式自主运行。涉及的核心组件功能如下：

(1) 基站智能体，完整“感知 - 决策 - 执行 - 学习”处理的自主智能边缘节点。它通过本地 AI 引擎对通感算数据进行实时处理与决策，驱动多维资源管理器进行跨域联合调度，从而在极低时延内响应动态业务需求。同时，它能与相邻智能体直接协同处理局部干扰与切换，并通过联邦学习贡献经验以实现群体智能进化。其核心作用是将集中式的全局智慧转化为分布式的敏捷行动，从根本上解决集中式处理的时延瓶颈，成为实现网络自治、弹性与极致服务体验的基础单元。

基站智能体中的本地传感器和物理资源池完成数据采集：基站通过通信天线阵列、专用感知硬件 (如集成雷达) 以及连接的海量物联网终端，同步采集信道状态信息 (CSI)、干扰噪声谱、目标反射点云、业务数据包特征等多模态原始数据流。